

## 1. Introduction

At the European Organization for Nuclear Research (CERN), radiation damage test studies have been carried out on a large variety of organic and inorganic materials, electronic components, metals, etc., which are used in the construction and operation of high-energy accelerators. Since apart from electronic components the organic materials are amongst those the most sensitive to radiation, a large amount of radiation damage test data have been published<sup>1-11)</sup>. Nevertheless, design engineers are often faced with the problem of quickly finding the desired information. We therefore decided to publish our radiation damage test results on organic materials in a catalogue, with an alphabetic compilation of data. Up to now, two volumes of the catalogue are available.

Part I<sup>12)</sup> contains information on commercially available cable insulating materials such as ethylene-propylene rubber, Hypalon, Neoprene-rubber, polyethylene, polyvinylchloride, etc. A detailed list of materials which can be found in Part I is given in Appendix 1.

The present part, Part II, contains thermosetting and thermoplastic resins\*) with exception of cable insulating materials. The main contribution of data in this part is from epoxy resins, which are used for the insulation of large magnet coils.

We first describe some characteristic properties of the materials and the test methods, and define the end-point criterion for the selection of radiation-resistant materials. Then we give the irradiation conditions, and in Section 4 we explain the presentation of the data.

It must be noted that all data have been obtained after accelerated irradiations in a nuclear reactor, and all tests were carried out under ambient environmental conditions. After long-term exposure and ageing in other environments, a variation from the presented data may be expected.

## 1. Introduction

A l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), des essais de radio-résistance ont été effectués sur un grand nombre de matériaux organiques et inorganiques, des composants électroniques, des métaux, etc., qui sont utilisés pour la construction et l'opération des accélérateurs à haute énergie. Mis à part les composants électriques, les matériaux organiques sont parmi les plus sensibles aux rayonnements ionisants; une grande quantité de résultats sur ce sujet peut donc être trouvée dans la littérature<sup>1-11)</sup>. Toutefois, les ingénieurs rencontrent souvent des difficultés pour trouver facilement l'information voulue. C'est pour cette raison que nous avons décidé de publier nos résultats d'essais de radio-résistance des matériaux organiques sous forme de catalogue alphabétique. Ceci a été fait en deux parties:

La première partie<sup>12)</sup> concerne des matériaux utilisés comme isolants et gaines de câbles électriques: le caoutchouc éthylène-propylène, l'Hypalon, le caoutchouc Néoprène, le polyéthylène, le chlorure de polyvinyle, etc. Une liste complète des matériaux présentés dans cette première partie peut être trouvée dans l'appendice 1.

Le présent volume, qui constitue la seconde partie, contient des résines thermodurcissables et thermoplastiques\*), dont la plupart sont des époxydes utilisés dans l'isolation de bobinés d'aimants.

Nous donnons d'abord quelques propriétés caractéristiques des matériaux, les méthodes d'essais utilisées, et nous définissons les critères de dégradation de propriétés qui servent à sélectionner les matériaux radiorésistants. Nous décrivons ensuite les conditions d'irradiation et, dans la section 4, nous expliquons la présentation des données.

Il faut noter que tous les résultats ont été obtenus par des irradiations accélérées dans un réacteur nucléaire, et que tous les essais ont été faits à température ambiante. Après une longue période d'irradiation et un vieillissement sous d'autres conditions, on peut s'attendre à un changement dans les résultats que nous avons obtenus.

\*) Thermosetting materials have the property of becoming permanently hard and rigid when heated or cured, whereas thermoplastic resins may be remelted and cooled time after time without undergoing any appreciable chemical change.

\*) Les matériaux thermodurcissables se transforment pendant la cuisson en des produits réfractaires et non solubles, tandis que les produits thermoplastiques ramollissent si l'on augmente la température et durcissent de nouveau si on l'abaisse.

## 2. Materials, characteristic properties, test methods, and end-point criterion

Most materials listed in this catalogue have been supplied during the construction period of the CERN 400 GeV Super Proton Synchrotron (SPS) by European firms which were involved in offers and/or supply of organic resins to be used in high radiation areas. A list of these firms is given in Appendix 3. Apart from epoxy resins, which represent the largest group of materials, also polyesters, phenolics, polyurethanes, and silicones were included in the radiation damage test studies. Some materials may not be on the market any longer; this is marked in the tables and graphs of the catalogue whenever known.

Some characteristic physical, mechanical, and electrical properties of thermosetting resins are summarized in Table 1<sup>9)</sup>. These values may serve only as a general indication since they depend on numerous parameters such as composition and quantity of base resin, hardener, accelerator, filler, and other additives, as well as on cure conditions, etc.

The determination of the degradation of the materials due to ionizing radiation is based on the mechanical properties. This we justify by our own experience and that of others<sup>4)</sup> that, in general, the mechanical degradation of organic insulating materials occurs before the degradation of the electrical and other physical properties.

Whenever possible, the tests have been carried out according to international norms<sup>13)</sup>. Sometimes exceptions had to be made for practical or technical reasons, e.g. sample size, dose rate during irradiation, etc. The test samples, usually five per test, have been cut from 4 to 6 mm thick plates molded from the respective materials.

Flexion tests were performed on an Instron testing machine, where the force at rupture and the maximum deflection at break were determined. From these measurements the ultimate flexural strength and the tangent modulus of elasticity were calculated.

The testing method was a three-point loading system utilizing a centre load on the supported sample according to ASTM norm D790. The distance between the two supports was 67.0 mm and the speed of the central point was 2 mm/min.

As end-point criterion for the definition of the radiation resistance of non-flexible plastic insulating materials we require that *at a given dose D the ultimate flexural strength of the material is above 50% of its initial value at zero dose.*

## 2. Les matériaux, leurs propriétés caractéristiques, les méthodes d'essais et les critères de dégradation de propriétés

La plupart des matériaux de ce catalogue ont été fournis pendant la construction, au CERN, du Super-Synchrotron à Protons de 400 GeV, par des firmes européennes qui ont été engagées dans des offres ou des fournitures de résines organiques. Une liste de ces firmes est donnée dans l'appendice 3. À part les résines époxydées, qui recouvrent la plupart des matériaux, nous avons aussi inclus dans l'étude des résines polyestères, phénoliques, polyuréthanes et silicones. Il est possible que quelques-uns des matériaux ne soient plus sur le marché, et nous l'avons noté dans les tableaux et les graphiques, pour les cas où nous l'avons su.

Le tableau 1 donne un résumé des quelques propriétés mécaniques, électriques et physiques des résines thermodurcissables<sup>9)</sup>. Ces valeurs peuvent seulement servir d'indication générale, puisqu'elles dépendent de nombreux paramètres tels que la composition et la quantité de la résine de base, du durcisseur et de l'accélérateur, ainsi que les charges et d'autres additifs.

Pour la détermination de la dégradation des matériaux due aux rayonnements ionisants, nous avons choisi pour les essais les propriétés mécaniques. Ce choix se justifie par notre propre expérience, et celle d'autres auteurs<sup>4)</sup>, qui nous ont appris que la dégradation, due à l'irradiation, des propriétés mécaniques des matières plastiques intervient généralement avant celle de leurs propriétés électriques et de leurs autres propriétés physiques.

Nous avons exécuté nos essais selon les normes internationales<sup>13)</sup> dans tous les cas où cela était possible. Pour des raisons pratiques ou techniques, quelques exceptions étaient inévitables, par exemple dimension d'échantillons, débit de dose pendant l'irradiation, etc.

Les matériaux ont été fournis sous forme de plaques de 4 à 6 mm d'épaisseur, dans lesquelles, en général, cinq échantillons ont été coupés pour chaque essai.

Des essais de flexion ont été effectués sur une machine Instron qui ont permis de déterminer la force ainsi que la déflexion à la rupture. Ensuite nous avons calculé la résistance à la flexion et le module d'élasticité.

La méthode d'essai était un système d'appui à trois points: on applique la force sur le point central, selon la norme ASTM D790. La distance entre les deux points d'appui était de 67,0 mm, et la vitesse d'avancement du point central était de 2 mm/min.

### 3. Irradiation conditions and dosimetry

*Important remark:* New special names of SI units in the field of ionizing radiation have been adopted in 1975 on the recommendation of the International Commission on Radiation Units and Measurements<sup>14)</sup>. This new SI unit for the absorbed dose of interest here is the Gray (Gy), whereby

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad.}$$

*Please note that all units for absorbed dose in this report are in Gray.*

Test samples have been irradiated to three different doses between  $5 \times 10^6$  and  $1 \times 10^8$  Gy at the ASTRA reactor in Seibersdorf (Austria). This is a 7 MW pool reactor, and the irradiation position 11 is situated in the reactor core. The characteristics of the irradiation container and the radiation field are the following:

Dimensions of irradiation container:	diameter 46 mm; length 300 mm;
Fast neutron flux ( $E > 1 \text{ MeV}$ ):	$2-3 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ ;
Thermal neutron flux:	$4-5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ ;
Gamma dose rate:	$1-2 \times 10^6 \text{ Gy/h}$ ;
Irradiation medium:	water;
Irradiation temperature:	30-40°C.

The thermal neutron flux and the fast neutron spectrum are determined by means of activation detectors and the gamma dose rate is measured calorimetrically. More details about the irradiation conditions and dosimetry are given elsewhere<sup>15)</sup>.

### 4. Presentation of data

The data are presented in alphabetical order, and under each letter (if there are any materials) the following information can be found:

- Material name, trade name, and/or chemical name and chemical formula if known;
- Tables and graphs containing the radiation damage test data.  
The tables contain:
  - The material name (e.g. Silicone);
  - An internal code number;
  - The material type, composition, cure condition if known, and the supplier of the material;
  - Flexion test results for the irradiated and non-irradiated material :
    - ultimate flexural strength in N/mm<sup>2</sup>,
    - deflection at break in mm,
    - modulus of elasticity in N/mm<sup>2</sup>.

Comme critère de dégradation de propriétés pour la définition de la radiorésistance de matériaux isolants non flexibles, nous exigeons qu'à une dose-seuil  $D$  la résistance de flexion du matériel soit au-dessus de 50% de sa valeur initiale à dose zéro.

### 3. Conditions d'irradiation et dosimétrie

*Remarque importante:* De nouvelles unités SI dans le domaine des rayonnements ionisants ont été introduites en 1975<sup>14)</sup>. L'unité SI pour la dose absorbée est le Gray (Gy), tel que

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad.}$$

*Il faut noter que dans ce rapport toutes les valeurs pour la dose absorbée sont données en Gray.*

Les échantillons ont été irradiés en général à trois doses intégrées entre  $5 \times 10^6$  et  $1 \times 10^8$  Gy dans le réacteur ASTRA, à Seibersdorf (Autriche). Il s'agit d'un réacteur piscine de 7 MW et la position d'irradiation N° 11 se trouve dans le cœur du réacteur. Les caractéristiques du container d'irradiation, ainsi que du champ de rayonnement, sont les suivantes:

Dimensions du container d'irradiation:	46 mm de diamètre, 300 mm de longueur;
Flux de neutrons rapides ( $E > 1 \text{ MeV}$ ):	$2-3 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ ;
Flux de neutrons thermiques:	$4-5 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$ ;
Débit de dose gamma:	$1-2 \times 10^6 \text{ Gy/h}$ ;
Milieu d'irradiation:	eau;
Température d'irradiation:	30-40 °C.

Le flux des neutrons thermiques et rapides a été mesuré par des détecteurs à activation, et le débit de dose gamma par un calorimètre. Plus de détails sur les conditions d'irradiation et la dosimétrie peuvent être trouvés dans la référence 15.

### 4. Présentation des résultats

Les matériaux au sujet desquels on peut trouver des résultats sont classés alphabétiquement en anglais; sous chaque lettre on peut trouver les informations suivantes:

- Nom du matériau, nom commercial et/ou nom chimique et formule chimique si connue;
- Les résultats d'essais de radiorésistance de matériaux sous forme de tableaux et graphiques.

Les tableaux contiennent:

- Le nom du matériau (par exemple, silicone);
- Un numéro de code interne;

The arithmetic mean value and standard deviation is given.

The graphs contain :

- The ultimate flexural strength S, the deflection at break D, and the modulus of elasticity M as a function of absorbed dose for the same materials as listed in the tables above ;
- Information on the material, composition, and supplier;
- Remarks, if any (e.g. used for SPS dipole magnets);
- Initial values of S, D, and M.

All materials which can be found in this catalogue are listed in Appendix 1. Appendix 2 gives the used trade names and corresponding chemical names. Appendix 3 lists the firms which supplied test samples for this study, and Appendix 4 explains the used commercial symbols for chemical compounds.

- Le type de matériau, sa composition, les conditions de cuisson si connues, et le fournisseur du matériau;

- Les résultats des essais de flexion pour le matériau irradié et non irradié:

- résistance à la flexion en N/mm<sup>2</sup>,
- déflexion à la rupture en mm,
- module d'élasticité en N/mm<sup>2</sup>.

La valeur de la moyenne arithmétique et la déviation standard sont données.

Les graphiques contiennent:

- La variation des propriétés mécaniques en fonction de la dose absorbée pour les mêmes matériaux que ceux donnés dans les tableaux expliqués ci-dessus;
- L'information sur le matériau, sa composition, le fournisseur;
- Des remarques, s'il y a lieu;
- Les valeurs des propriétés mécaniques pour le matériau non irradié.

La liste des matériaux pour lesquels nous donnons des résultats constitue l'appendice 1. Pour y retrouver facilement un matériau dont on ne connaît le nom qu'en français, nous avons préparé une liste de traductions dans le tableau 2.

L'appendice 2 donne les noms déposés ou noms de commerce des matériaux, avec leur nom chimique. L'appendice 3 présente une liste des firmes qui ont fourni des échantillons pour les essais, et l'appendice 4 explique les symboles commerciaux utilisés pour les composés chimiques.

## Acknowledgements

The present study was initiated by J.B. Adams with the start of the SPS programme and was originally carried out in collaboration with M. Van de Voorde and the ISR Division. The radiation damage test studies have been continuously supported by M. Crowley-Milling (SPS Division) and A.J. Herz (HS Division).

Our particular thanks are due to K. Goebel for his interest in this work and for many useful discussions and suggestions, as well as for the revision of this report.

We are grateful to W. Eichenberger and J. Maurer from Ciba-Geigy, Basle, for the revision of the chapter Araldite and for supplying the information on Ciba-Geigy products in Appendix 4.

We would like to thank the firms which have supplied the test samples, both for their interest in this subject and for useful discussions which we had with their representatives.

## Remerciements

Cette étude a été lancée par J. Adams, avec le début du programme SPS; initialement, elle a été effectuée en collaboration avec M. Van de Voorde et la Division ISR. Les études de dégradation des matériaux due au rayonnement ont été constamment soutenues par M. Crowley-Milling, Division SPS, et A.J. Herz, Division HS.

Nous remercions particulièrement K. Goebel pour l'intérêt qu'il a montré pour cette étude et pour de nombreuses suggestions et discussions, ainsi que pour la révision de ce rapport.

Nous sommes reconnaissants à W. Eichenberger and J. Maurer, de Ciba-Geigy (Bâle), pour leur révision du chapitre sur l'Araldite et pour les informations qu'ils nous ont données sur les produits Ciba-Geigy mentionnés à l'appendice 4.

Nous tenons aussi à remercier les fabricants qui ont fourni des échantillons d'essais; nous avons eu des discussions utiles avec les représentants de nombreuses firmes.

The irradiations have been carried out at the ASTRA reactor centre, which belongs to the Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie in Vienna. The good collaboration with A. Burtscher and J. Casta is acknowledged.

The organization, execution, and data analysis of the mechanical tests have been carried out by P. Beynel. His enthusiasm and interest in the work were very much appreciated.

Finally we would like to acknowledge the special effort and care taken by the CERN Scientific Reports Typing Service in the typing and presentation of this document.

Les irradiations ont été effectuées au réacteur ASTRA, à Seibersdorf, en Autriche, qui fait partie de l'Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie. Nous avons apprécié la bonne collaboration que nous ont offerte A. Burtscher et J. Casta.

L'organisation des essais mécaniques, leur exécution, et l'analyse des résultats ont été effectués par P. Beynel. Son enthousiasme et l'intérêt qu'il a porté à ce travail ont été précieux.

Nous voudrions enfin exprimer notre appréciation de l'effort et de l'attention que le Service de dactylographie de rapports scientifiques a apportés à la préparation de ce document.

## References

- 1) B. Doležel, Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi; Chapter 2: Beständigkeit gegen ionisierende Strahlung (Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1978), p. 303.
- 2) J. Berhet et al., Des plastiques dans le nucléaire: comment les essayer?, Caoutchoucs et plastiques **580**, 171 (1978).
- 3) D.C. Phillips, The effects of radiation on electrical insulators in fusion reactors, AERE-R8923 (UK Atomic Energy Authority, Harwell, 1978).
- 4) J.F. Kirchner and R. Bowman, Effects of radiation on materials and components (Reinhold Publishing Corp., New York, 1964).
- 5) R.O. Bolt and J.G. Carroll, Radiation effects on organic materials (Academic Press, New York, London, 1963).
- 6) M.H. Van de Voorde, The effect of nuclear radiation on the electrical properties of epoxy resins, CERN 68-13 (1968).
- 7) M.H. Van de Voorde, Effects of radiation on materials and components, CERN 70-5 (1970).
- 8) M.H. Van de Voorde, Action des radiations sur les résines époxydes, CERN 70-10 (1970).
- 9) M.H. Van de Voorde and C. Restat, Selection guide to organic materials for nuclear engineering, CERN 72-7 (1972).
- 10) H. Schönbacher and M. Van de Voorde, Radiation and fire resistance of cable insulating materials used in accelerator engineering, CERN 75-3 (1975).
- 11) H. Schönbacher, Anwendung von Kabel und Magnet-isolationen im nuklearen Strahlungsfeld von über 1 Megagray, Bulletin de l'Ass. Suisse des Electriciens **69**, 72 (1977).
- 12) H. Schönbacher and A. Stolarz-Izycka, Compilation of radiation damage test data; Part I: Cable insulating materials, CERN 79-04, (1979).
- 13) International Electrotechnical Commission, Geneva, Publication No. 544: Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials; Part 1: Radiation interaction, Ref. 544-1 (1977); Part 2: Procedures for irradiation, Ref. 544-2 (in preparation); Part 3: Test procedures for permanent effects, Ref. 544-3 (in preparation).
- 14) K. Lidén, The new special SI units in the field of ionizing radiation, Health Physics **30**, 417 (1976).
- 15) H. Schönbacher et al., Study on radiation damage to high-energy accelerator components by irradiation in a nuclear reactor, Kerntechnik **17**, 268 (1975).
- 16) George Lubin (ed.), Handbook of fiberglass and advanced plastics composites; Polymer technology series (Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1969).
- 17) H. Jahn, Epoxidharze (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1969).
- 18) Clayton A. May and Yoshio Tanaka (eds.), Epoxy resins, chemistry and technology (Marcel Dekker, Inc., New York, 1973).
- 19) A.O. Jenkins (ed.), Polymer science (North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1972).
- 20) O.-B. Neumüller (ed.), Römpps Chemie-Lexikon (Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1973).



Table 1  
Characteristic properties of thermosetting materials

PROPERTIES	POLYMERS				EPOXY RESINS			
	BISPHENOL A		EPOXY NOVOLAC		GLASS		MINERAL	
	NO FILLER	GLASS	MINERAL	NO FILLER	GLASS	MINERAL	MINERAL	MINERAL
SPECIFIC GRAVITY ( g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D792	1.15	2.0 - 2.1	1.8 - 2.0	1.2	1.97	1.7	
WATER ABSORPTION ( % )	D 570	0.1 - 0.2	0.02 - 0.08	0.30 - 0.80	-	0.04 - 0.06	0.11 - 0.20	
THERMAL CONDUCTIVITY ( kcal/m. h. °C )	D 325	0.15 - 0.45	1	-	-	-	-	
THERMAL COEFFICIENT OF EXPANSION ( 10 <sup>-5</sup> / °C )	D 696	6	0.6	-	3	-	-	
TENSILE STRENGTH ( kg / cm <sup>2</sup> )	D 638	700 - 800	3500 - 4000	700	700	3500 - 4000	380	
ELONGATION ( % )	D 638	4.4	-	-	2 - 5	-	-	
TENSILE MODULUS ( 10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	D 638	3.5	30	10 - 15	3.5	21 - 22	-	
FLEXURAL STRENGTH ( kg / cm <sup>2</sup> )	D 790	800 - 1300	3600	1500 - 1700	600 - 1000	3900	700 - 800	
IMPACT STRENGTH (notched) (kg cm/cm)	D 256	1.1 - 2.7	6.4 - 8.2	2.2 - 2.7	2.7	7.0 - 9.2	2.2 - 2.7	
VOLUME RESISTIVITY ( Ω . cm )	D 257	6.1 10 <sup>16</sup>	-	1.5 10 <sup>15</sup>	2.1 - 10 <sup>14</sup>	-	1.4 - 5.5 10 <sup>14</sup>	
DIELECTRIC STRENGTH ( kV/mm )	D 149	> 16	18 - 22	15 - 16	-	-	12 - 16	
POWER FACTOR at 10 <sup>6</sup> cycl/s	D 150	0.032	0.024	0.013	0.029	0.015	-	
DIELECTRIC CONSTANT at 10 <sup>6</sup> cycl/s	D 150	3.4	4.7 - 4.8	4.1 - 4.6	3.5	5.1	4.3 - 4.8	
HEAT DISTORTION TEMPERATURE ( °C )	D 648	110	-	-	150 - 200	-	-	

Table 1 (contd.)

POLYMERS	PHENOLICS						POLYIMIDES	
	NO FILLER	WOOD FLOUR	ASBESTOS	FIBRE AND FABRIC	MINERAL	NYLON	UNFILLED	GLASS
SPECIFIC GRAVITY (g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D792	1.30 - 1.32	1.29 - 1.51	1.78 - 2.00	1.3 - 1.4	1.5 - 1.9	1.2 - 1.5	1.47
WATER ABSORPTION (%)	D 570	0.30 - 0.40	0.70 - 1.20	0.03 - 0.30	0.50 - 1.6	0.04 - 0.25	0.25 - 0.4	0.68
THERMAL CONDUCTIVITY (kcal/m.h. <sup>o</sup> C)	D 325	-	0.15 - 0.45	0.15 - 0.25	0.3	0.3	-	0.60
THERMAL COEFFICIENT OF EXPANSION (10 <sup>-5</sup> /°C)	D 696	4.3	3.6	-	3	1.8	-	5.4
TENSILE STRENGTH (kg/cm <sup>2</sup> )	D 638	140 - 630	385 - 630	210 - 490	315 - 630	140 - 595	315 - 630	740
ELONGATION (%)	D 638	~5	~5	~5	~5	4 - 9	< 1.5	< 1
TENSILE MODULUS (10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	D 638	1.4 - 3.1	4.9 - 14.0	11 - 20.0	5.6 - 10.0	9.5 - 21.0	2.8 - 14.0	3.2
FLEXURAL STRENGTH (kg/cm <sup>2</sup> )	D 790	840 - 1000	600	450 - 770	490 - 1100	560 - 840	420 - 910	1000
IMPACT STRENGTH (notched) (kgcm/cm)	D 256	2.7 - 4.3	1 - 2.8	0.6 - 16	2 - 36	0.97 - 3.9	1.4 - 2.8	5
VOLUME RESISTIVITY (Ω cm)	D 257	2.5 10 <sup>10</sup> - 10 <sup>12</sup>	10 <sup>9</sup> - 10 <sup>13</sup>	10 <sup>8</sup> - 10 <sup>13</sup>	10 <sup>8</sup> - 10 <sup>12</sup>	10 <sup>10</sup> - 10 <sup>14</sup>	10 <sup>11</sup> - 10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup> - 10 <sup>17</sup>
Dielectric Strength (kV/mm)	D 149	10 - 16	0.6 - 10	0.4 - 10	0.4 - 7	3 - 16	1 - 11	22
POWER FACTOR at 10 <sup>6</sup> cycl/s	D 150	0.04 - 0.05	0.015 - 0.06	0.03 - 0.25	0.03 - 0.08	0.007 - 0.08	0.15 - 0.2	0.005
DIELECTRIC CONSTANT at 10 <sup>6</sup> cycl/s	D 150	4 - 9.7 (10 <sup>3</sup> c/s)	3.9 - 6.5	5 - 6	4.8 - 7	4 - 6	3.7 - 4.5	3.4
HEAT DISTORTION TEMPERATURE (°C)	D 648	150 - 180	130 - 180	-	250	180 - 200	-	300

Table 1 (contd.)

PROPERTIES	POLYMERS			POLYESTERS			POLYURETHANES			SILICONES		
	$\alpha$ CELLOULOSE	MINERAL	GLASS	NO FILLER			GLASS		MINERAL			
SPECIFIC GRAVITY ( g/cm <sup>3</sup> )	ASTM D792	1.35 - 1.40	1.70 - 2.20	1.20 - 2.00	1.20 - 1.40	1.21	1.88	1.88 - 2.8				
WATER ABSORPTION ( % )	D570	0.01 - 1	—	0.1 - 2	0.03 - 0.4	0.30 - 0.90	0.10 - 0.30	0.05 - 0.22				
THERMAL CONDUCTIVITY ( kcal/m h °C )	D325	—	—	1.8 - 2.2	0.15	—	0.27	0.50				
THERMAL COEFFICIENT OF EXPANSION ( 10 <sup>-5</sup> /°C )	D696	—	—	2	7	—	6	5				
TENSILE STRENGTH ( kg/cm <sup>2</sup> )	D638	420 - 500	210 - 460	420 - 900	350 - 810	450 - 600	280 - 560	175 - 310				
ELONGATION ( % )	D638	—	—	0.3 - 0.5	1.7 - 2.6	>	< 3	< 3				
TENSILE MODULUS ( 10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	D638	—	9.8 - 19.0	4.2 - 12.0	2.8 - 4.6	3.3 - 8.4	14.7 - 17.5	8.7 - 15.9				
FLEXURAL STRENGTH ( kg/cm <sup>2</sup> )	D790	700 - 840	175 - 630	840 - 1500	450 - 910	—	910	1330	700			
IMPACT STRENGTH (notched) (kgcm/cm)	D256	1.6 - 2.5	1 - 4	40 - 54	1.6 - 10	> 5.4	50	2				
VOLUME RESISTIVITY ( $\Omega$ cm )	D257	> 10 <sup>14</sup>	> 10 <sup>14</sup>	10 <sup>12</sup> - 10 <sup>16</sup>	2.7 10 <sup>14</sup> 2 10 <sup>15</sup>	6 10 <sup>2</sup> - 10 <sup>14</sup>	3 10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>				
DIЕLECTRIC STRENGTH ( kV/mm )	D149	10 - 14	10 - 17	6 - 14	10 - 17	20	10 - II	II - 16				
POWER FACTOR at 10 <sup>6</sup> cycl/s	D150	0.03 - 0.05	0.013 - 0.04	1.1 - 0.04	0.01 - 0.03	0.03 - 0.05	0.003 - 0.02	0.002 - 0.01				
DIЕLECTRIC CONSTANT at 10 <sup>6</sup> cycl/s	D150	3.5 - 5.5	4.5 - 7.0	4.5 - 6.0	3.0 - 4.01	3.3 - 3.9	4.35	3.4 - 4.5				
HEAT DISTORTION TEMPERATURE ( °C )	D648	—	—	200	50 - 200	—	> 450	270 - 450				

Tableau 2

Noms, en ordre alphabétique,  
de tous les matériaux cités dans ce volume, avec leur traduction en anglais.

Les noms en italiques sont des marques de fabrique,  
ou des noms déposés, pour lesquels nous ne donnons pas de traduction.

En français	En anglais
<i>Araldite B</i>	
<i>Araldite D</i>	
<i>Araldite F</i>	
<i>Araldite F + epoxy Novolac</i>	
<i>Birakrit</i>	
<i>Cevolit</i>	
<i>Crystic</i>	
<i>Dobeckan IF</i>	
<i>Dobeckot</i>	
<i>Epikote</i>	
<i>Etronax</i>	
<i>Isoval</i>	
<i>Kerimid</i>	
<i>Kinel</i>	
<i>Macrolon</i>	
<i>Novolac</i>	
<i>Orlitherm</i>	
<i>Polylite</i>	
Résines époxydes	Epoxy resins
Résines époxydes + Novolac	Epoxy resins + Novolac
Résines phénoliques	Phenolic resins
Résines de polycarbonate	Polycarbonate resins
Résines de polyester	Polyester resins
Résines de polyimide	Polyimide resins
Résines polyuréthanes	Polyurethane resins
Résines silicones	Silicone resins
<i>Resofil</i>	
<i>Ryton</i>	
<i>Samicanit</i>	
<i>Samicatherm</i>	
<i>Veridur</i>	
<i>Vetresit</i>	
<i>Vetronit</i>	

APPENDIX 1

Names, in alphabetical order, of all materials presented in this catalogue.  
The main entries are in romans,  
the names in italics appear as cross-references.

Volume 1: Cable insulating materials (Ref. 12)

BUTYL RUBBER  
*CHLOROSTOP*  
*CHLOROSULFONATED POLYETHYLENE (CSP)*  
*CROSS-LINKED POLYETHYLENE (XLPE)*  
DESMOPAN  
ETHYL-ACRYLATE RUBBER (EAR)  
ETHYLENE-PROPYLENE DIENE RUBBER (EPDM)  
ETHYLENE-PROPYLENE RUBBER (EPR)  
ETHYLENE VINYL-ACETATE (EVA)  
FLAMTROL  
*FLUOROPOLYMER*  
HALAR  
HYPALON  
HYTREL  
KAPTON  
*LUPOLEN*  
NEOPRENE  
*NORDEL*  
*POLYCHLOROPRENE*  
POLYETHYLENE (PE)  
POLYURETHANE (PUR)  
POLYVINYLCHLORIDE (PVC)  
*PYROFIL*  
RADOX  
*SEMICONDUCTING POLYETHYLENE*  
SILICONE RUBBER  
*SILYTHENE*  
STILAN  
TEFLON  
TEFZEL  
VITON  
XLPE

Volume 2: Thermoplastic and thermosetting resins (present report)

ARALDITE B  
ARALDITE D  
ARALDITE F and other ARALDITE resins  
*ARALDITE F + EPOXY NOVOLAC*  
*BIRAKRIT*  
*CEVOLIT*  
*CRYSTIC*  
*DOBECKAN IF*  
*DOBECKOT*  
*EPIKOTE*  
**EPOXY RESINS**  
*EPOXY RESINS + EPOXY NOVOLAC*  
*ETRONAX*  
*ISOVAL*  
*KERIMID*  
*KINEL*  
*MACROLON*  
*NOVOLAC*  
*ORLITHERM*  
**PHENOLIC RESINS**  
**POLYCARBONATE RESINS**  
**POLYESTER RESINS**  
**POLYIMIDE RESINS**  
*POLYLITE*  
**POLYURETHANE RESINS**  
*RESOFIL*  
*RYTON*  
*SAMICANIT*  
*SAMICATHERM*  
**SILICONE RESINS**  
*VERIDUR*  
*VETRESIT*  
*VETRONIT*

APPENDIX 2

Trade name with corresponding chemical name for basic components

<u>Trade name</u>	<u>Chemical name</u>
ARALDITE	Epoxy resin
BIRAKRIT	Epoxy resin
CEVOLIT	Polyester
CRYSTIC	Polyester
DOBECKAN IF	Polyurethane
DOBECKOT	Epoxy resin
EPIKOTE	Epoxy resin
ETRONAX	Phenolic
ISOVAL	Epoxy resin
KERIMID	Polyimide
KINEL	Polyimide
MAKROLON	Polycarbonate
ORLITHERM	Epoxy resin
POLYLITE	Polyester
RESOFIL	Phenolic
RYTON	Polyphenyl sulfide
SAMICANIT	Epoxy resin
SAMICATHERM	Epoxy resin
VERIDUR	Silicone resin
VETRESIT	Epoxy resin (Novolac)
VETRONIT	Epoxy resin

APPENDIX 3

Firms which supplied test samples contained in this volume

Firm	Material
ALSTHOM Belfort, France	Araldite MY745; Epoxy Novolac
BBC, Brown, Boveri & Company Baden, Switzerland	Araldite CY205, CY222, MY720, Silicone
BBC, Brown, Boveri & Company Mannheim, West Germany	Epoxy, Polyester, Polyurethane
Cellpack AG Wohlen/Aargau, Switzerland	Polyester
CIBA-GEIGY Basel, Switzerland	Araldite B, Araldite CY205, MY745, Epoxy Novolac
DOW Chemical Europe SA Horgen, Switzerland	Epoxy Novolac
Dr. Beck (new name BASF Farben + Fasern AG) Hamburg, West Germany	Epoxy, Polyurethane
Elektro-ISOLA A/S Vejle, Denmark	Polyester
Ferrozell-Geschw. Sachs & Co. mbH Augsburg, West Germany	Epoxy
Gummi Maag Zürich, Switzerland	Polyester
Hazemeyer Hengelo, Netherlands	Polyester
ISOLA, Fabrique Suisse d'Isolants Breitenbach, Switzerland	Epoxy, Epoxy Novolac, Polyimide, Silicone
ISOVOLTA Vienna, Austria	Epoxy
Klöckner-Müller AG Lausanne, Switzerland	Polycarbonate
LARS FOSS KEMI A/S (new name SADOF OSS) Fredensborg, Denmark	Epoxy
LINTOTT Engineering Ltd. Horsham, Sussex, England	Araldite F, MY720, MY740
LRCE, Laboratoire de Recherches, Contrôles et Expertises Genève, Switzerland	Epoxy
MICAFIL Zürich, Switzerland	Araldite CY222, Epoxy Novolac, Phenolic, Polyester

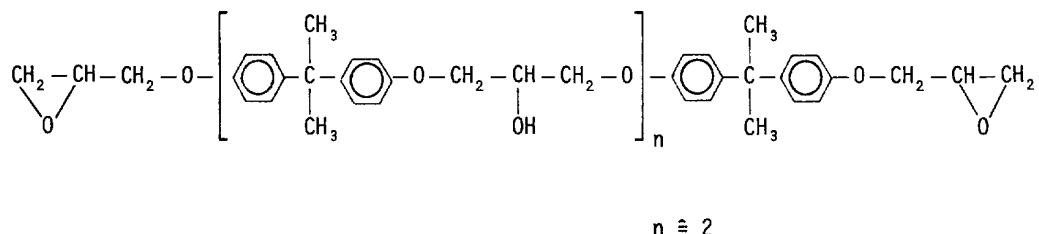
APPENDIX 4

Abbreviations of used commercial symbols

$\text{BF}_3\text{MEA}$

Boron trifluoride monoethylamine:  $\text{BF}_3-\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

CT 200 (CIBA-GEIGY), Araldite B, solid, unmodified epoxy resin based on Bisphenol A:



$$n \approx 2$$

CY 205 (CIBA-GEIGY) Liquid, unmodified epoxy resin based on Bisphenol A

208

" modified

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

" "

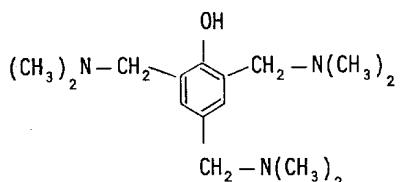
" "

" "

Firm	Material
Phillips Petroleum Company Bruxelles, Belgium	Ryton
PLESSEY COMPANY Ltd. Ilford, Essex, England	Araldite MY740
RHÔNE-POULENC Genève, Switzerland	Polyimide
SHAMBAN, Rubeli Guigoz Lausanne, Switzerland	Polyimide
SHELL CHEMIE Zürich, Switzerland	Epoxy Novolac
SIN, Schweizerisches Institut für Nuklear- forschung Villigen, Switzerland	Araldite D
SNPE, Société Nationale de Poudres et Explosifs Paris, France	Polyester
UOP, Bisterfeld & Stolting GmbH Egerpohl/Wipperfürth, West Germany	Epoxy

DMP 30

Accelerator - 2,4,6-tris[N,N-(dimethylamino)methyl]phenol



DX 126 (SHELL) } curing agent - anhydride  
DX 127 (SHELL)

DY 040 (CIBA-GEIGY) flexibilizer - polypropyleneglycol

061                   accelerator - aminophenol  
062                   accelerator - benzylidimethylamine   
063                   accelerator  
064                   accelerator - aminophenol  
065                   accelerator unmodified sodium alkoxide  
067                   accelerator modified "

EP (SHELL)          EPIKOTE

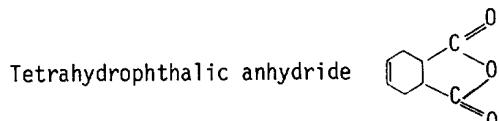
154 } Polyglycidyl ether of phenol formaldehyde novolac  
827 } (Chemical formula see DEN)

828   Diglycidyl ether of Bisphenol A (see DGEBA)

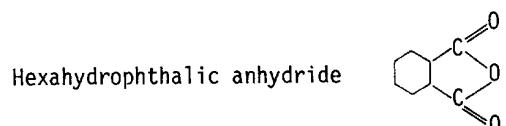
EPN (CIBA-GEIGY) Epoxy Phenol Novolac

1138 } Polyglycidyl ether of phenol formaldehyde novolac  
1139 } (Chemical formula see DEN)

HT 903 (CIBA-GEIGY) Acid anhydride hardener, solid, modified



HT 907 (CIBA-GEIGY) Acid anhydride hardener, solid, unmodified

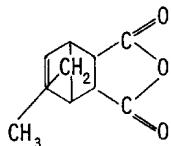


HT 972 (CIBA-GEIGY) Amine hardener, solid, unmodified (see DDM)

HY 905 (CIBA-GEIGY) Acid anhydride hardener, liquid, modified  
Hexahydrophthalic anhydride (see HT 907)

HY 906 (CIBA-GEIGY) Acid anhydride hardener, liquid, unmodified

Methyl nadic anhydride (MNA)

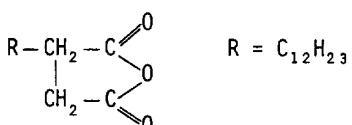


HY 956 (CIBA-GEIGY) Amine hardener, liquid, modified

Triethylenetetramine    H<sub>2</sub>N-[CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-NH]<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub>

HY 964 (CIBA-GEIGY) Acid anhydride hardener

Dodeceny succinic anhydride



MDA

Hardener

Methylenedianiline (see DDM)

MNA

Hardener

Methyl nadic anhydride (formula see HY 906)

MY 720 (CIBA-GEIGY) Liquid, unmodified, epoxy resin

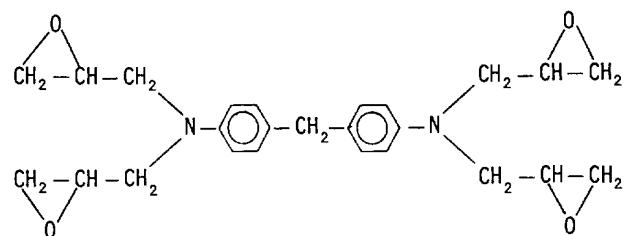
Tetrafunctional glycidyl compound of diamines (TGDM)

MY 740 (CIBA-GEIGY) Liquid, unmodified epoxy resin based on Bisphenol A  
(see CY 205)

MY 745 (CIBA-GEIGY) Liquid, modified epoxy resin based on Bisphenol A  
(see CY 208, 221 and 222)

TGDM

N,N'-tetraepoxypropyl-4,4'-methylene-dianiline



XB 2687 (CIBA-GEIGY) Accelerator, liquid modified, replacement for DY 063  
Amine-phenol salt

